

Microcontroladores

Prof : Antonio Ramirez Hidalgo

Aracaju - Sergipe

Objetivos da Disciplina

- Aprender os fundamentos dos Microprocessadores e Microcontroladores, dando ênfase aos Microcontroladores já que estes apresentam quase todas as partes de um sistema microcomputador baseado em microprocessador.
- Aprender ao respeito de um dos microcontroladores mais utilizados, a família dsPIC.
- Aprender a linguagem “C” do dsPIC.
- Implementar sistemas com o dsPIC e seus diferentes periféricos.

Metodologia:

- Aulas expositivas
- Exemplos e Exercícios
- Microtestes
- Laboratório
- Implementação de projetos.

Bibliografia

- ❖ Vitor Amadeu Souza. Programação em C para o DSPIC: Fundamentos. 1ª edição. 2008.
- ❖ STALLINGS, William., **Computer Organization and Architecture**. Fifth edition , Prentice Hall, 2000.
- ❖ MALVINO, A, **Microcomputadores e microprocessadores**. McGraw –Hill do Brasil, 1985.
- ❖ Tokheim, Roger L, **Introdução aos Microprocessadores**. Makron Books do Brasil Editora Ltda, 1985.
- ❖ Ziller, Roberto M, **Microprocessadores – Conceitos importantes**. 2ª . edição, Ed. Do autor, 2000.
- ❖ Brey, B, B., **Los Microcontroladores Intel- 8086/8088, 80186, 80286, 80386 y 80486, Arquitetura, programación e interfaces**. 3ª Edição, Prentice Hall, 1995.
- ❖ Microchip – **dsPIC30F Family Reference Manual**. High-Performance Digital Signal Controllers, 2006.
- ❖ Microchip – **dsPIC30F4011/4012 Data Sheet**. High-Performance, 16-bit Digital Signal Controllers, 2008.
- ❖ Microchip - **dsPIC30F/33F Programmer's Reference Manual**, High-performance Digital Signal Controllers, 2008.
- ❖ Microchip - **MPLAB® ASM30, MPLAB® LINK30 AND UTILITIES, USER'S GUIDE**, 2005.
- ❖ Microchip - **Getting Started with dsPIC30F Digital Signal Controllers**, Users Guide, 2005.

Introdução aos Microcontroladores

Objetivos:

- ❖ Apresentação geral de um microcontrolador.
- ❖ Estudar a estrutura e o funcionamento do Microcontrolador dsPIC30F4011 e seus periféricos.
- ❖ Aprender a programação básica do microcontrolador dsPIC30F4011.
- ❖ Utilizar um KIT ou simulador para verificar os programas feitos.
- ❖ Implementar e aplicar os conhecimentos de hardware e software do microcontrolador dsPIC30F4011.

O Microcontrolador

❖ Os microcontroladores tem existido desde os inícios da revolução do microprocessador. O primeiro chip microprocessador foi o Intel 4004 de 4 bits, lançado em 1971. No seguinte ano se viu o primeiro microprocessador de 8 bits, o 8008, e o 8080 em 1974. Em 1975 foi lançado o primeiro microcontrolador o Intel 8048 com RAM e ROM no mesmo chip, sendo utilizado em vários produtos comerciais de sucesso. Em 1976 a Intel introduz o 8748, o primeiro dispositivo da família de microcontroladores MCS – 48™ com EEPROM.

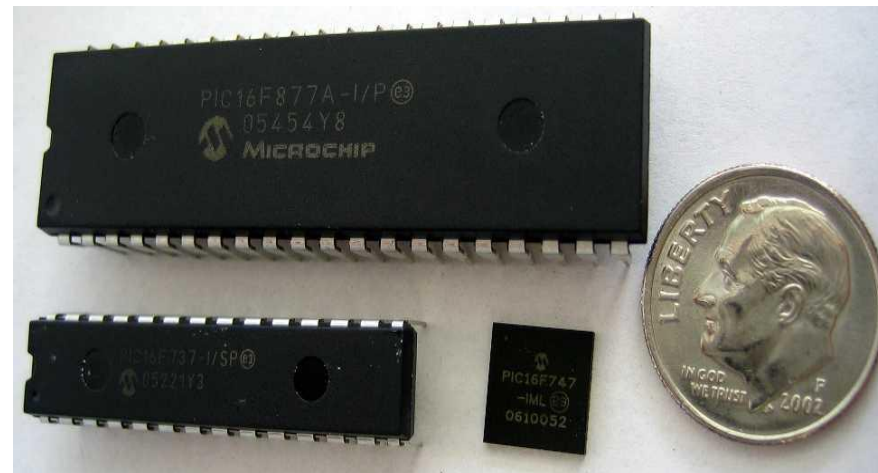
❖ No ano 80 a Intel anuncia o 8051, o primeiro dispositivo da família de microcontroladores MCS - 51™ . As características deste circuito integrado são as seguintes:

- ☐ Este tem 60.000 transistores
- ☐ 4 K bytes de memória ROM
- ☐ 128 bytes de RAM
- ☐ 32 linhas de entrada e saída (I/O lines)
- ☐ Uma porta serial e
- ☐ Dois temporizadores de 16 bits.

❖ Novos membros se têm acrescentado à família MCS-51 e hoje em dia as variações que existem virtualmente duplicaram as especificações anteriores. Por exemplo a Siemens oferece o SAB80515, o qual é um 8051 com vários acréscimos, este tem um empacotamento com 68 pinos com seis portas de entrada e saída de 8 bits, 13 fontes de interrupção e um conversor A/D de 8 bits com 8 canais de entrada.

❖ *A família 8051 está bem estabelecida como uma das mais versáteis e poderosas dentro dos microcontroladores de 8 bits.*

- ❖ Ao respeito dos microcontroladores PIC projetado pela empresa Microchip Technology podemos dizer que o nome real deste microcontrolador é PICmicro (Peripheral Interface Controller), mas é melhor conhecido como PIC. O primeiro ancestral do PIC foi projetado pela General Instruments, e foi chamado de PIC1650 pensado para propósitos totalmente diferente dos uC comerciais. Quase 10 anos depois, foi acrescentado uma memória EEPROM, com esta foi transformado em um microcontrolador PIC real.
- ❖ Atualmente, Microchip Technology anunciou a 6 bilionésima amostra manufaturada.
- ❖ Todos os microcontroladores PIC usam arquitetura Harvard (memória de programa e de dados separadas), o que significa que sua memória de programa é conectada à CPU via 8 linhas. Dependendo da largura do barramento existem microcontroladores de 12, 14 e 16 bits.
- ❖ Os microcontroladores da família dsPIC30F são processadores de 16 bits com arquitetura Harvard modificada com um conjunto de instruções estendido As instruções são de 24 bits de largura. Os registradores de trabalho são de 16 bits de largura.



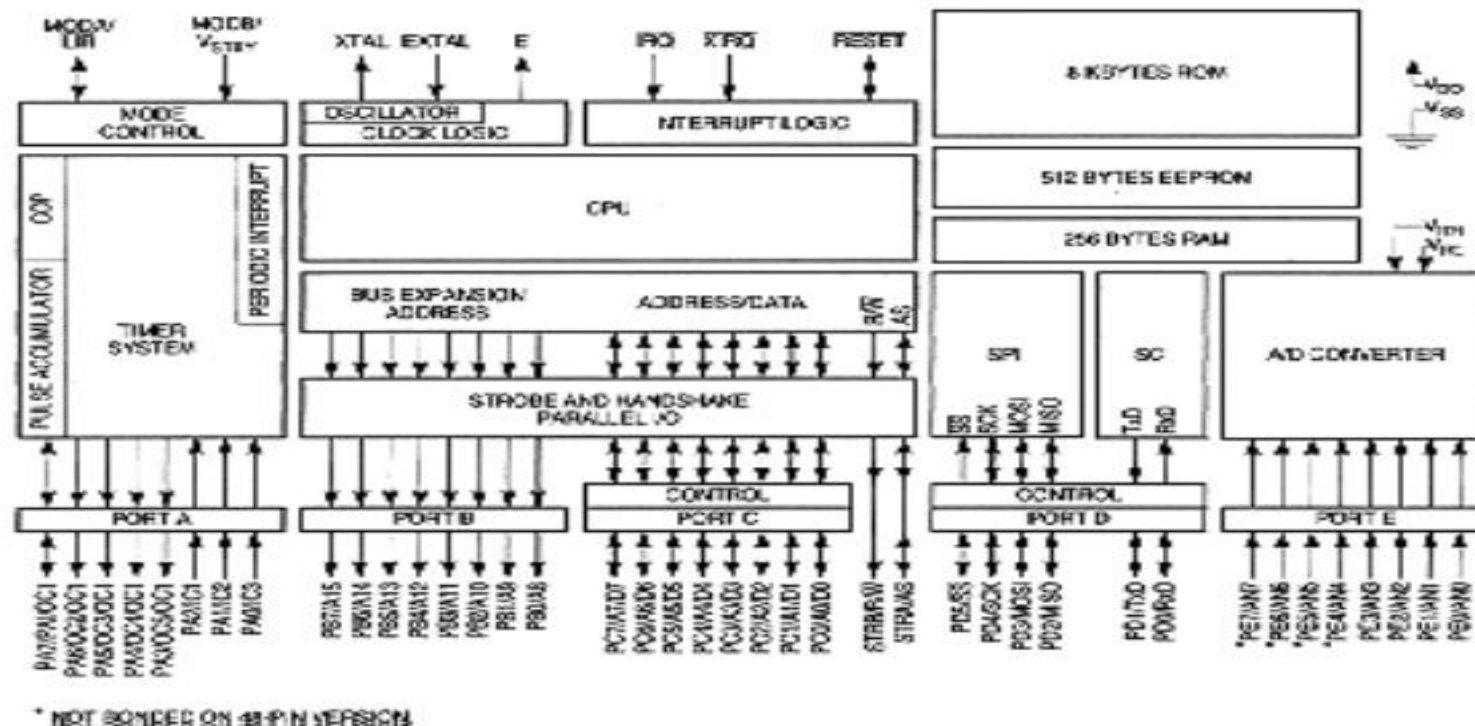
Principais Microcontroladores

O Microcontrolador 68HC11 Motorola

A família de microcontroladores 68HC11 tem algumas destas características:

Otimizada para consumo de baixa potência e alto desempenho, operação com frequências de bus acima de 4 MHz,

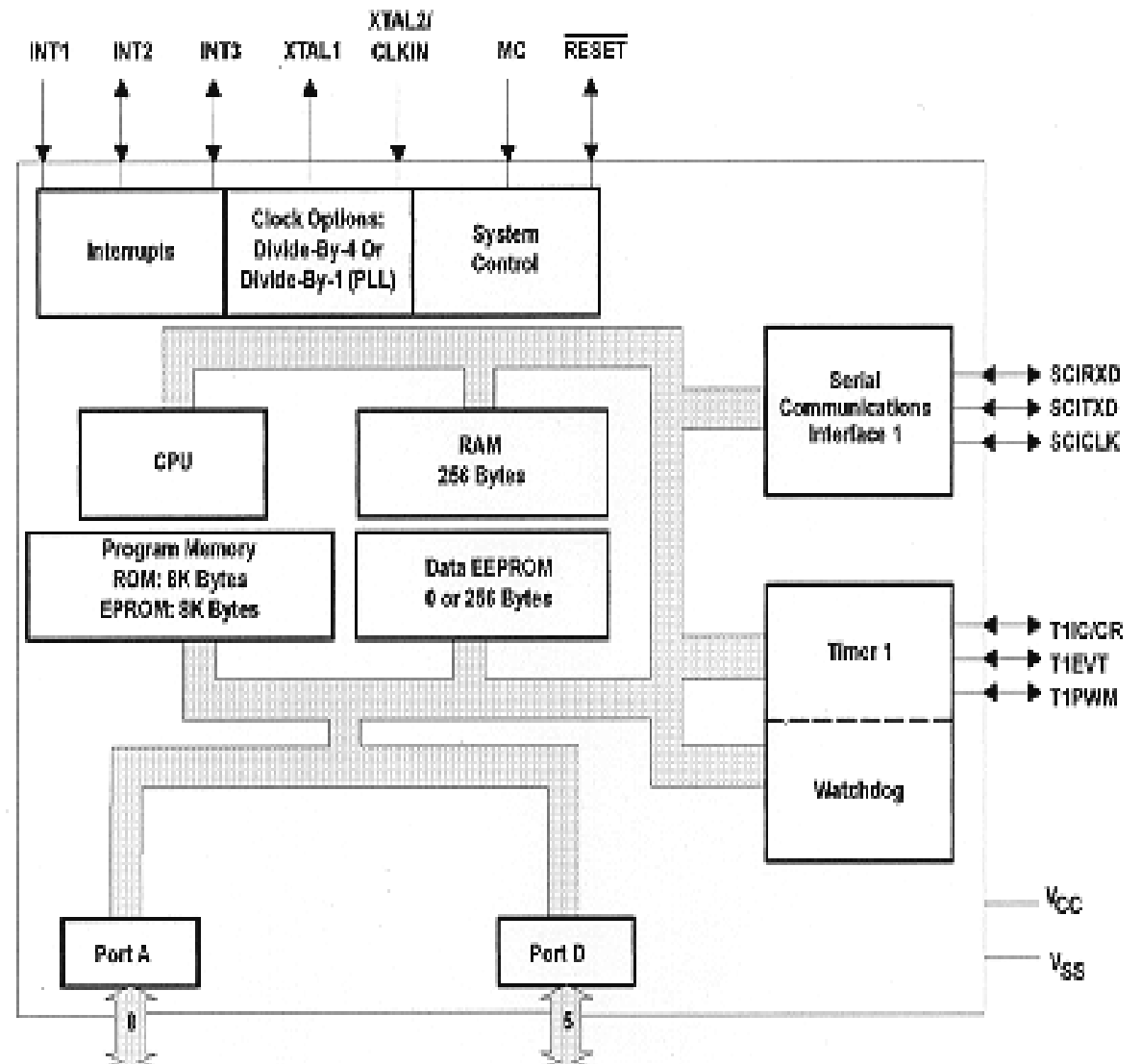
Sete registradores no CPU, um completo sistema de interrupção, EEPROM em muitos dos derivativos, um coprocessador matemático embutido em recentes dispositivos. M68HC11 também inclui uma unidade aritmética lógica (ALU) que funciona tão rápido como um dispositivo de 16-bit para multiplicação e divisão de inteiros. Operação na faixa entre -40degC e +125degC.



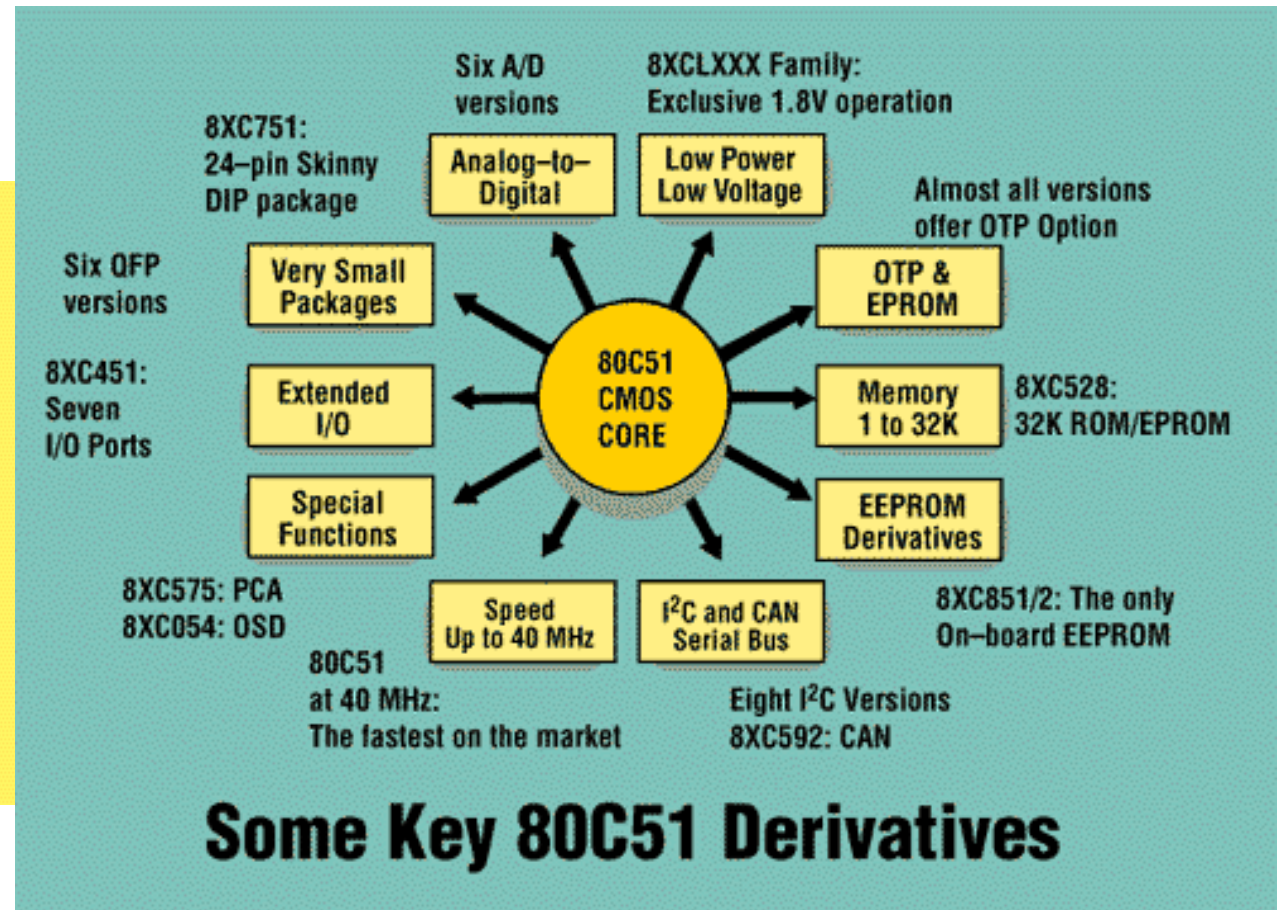
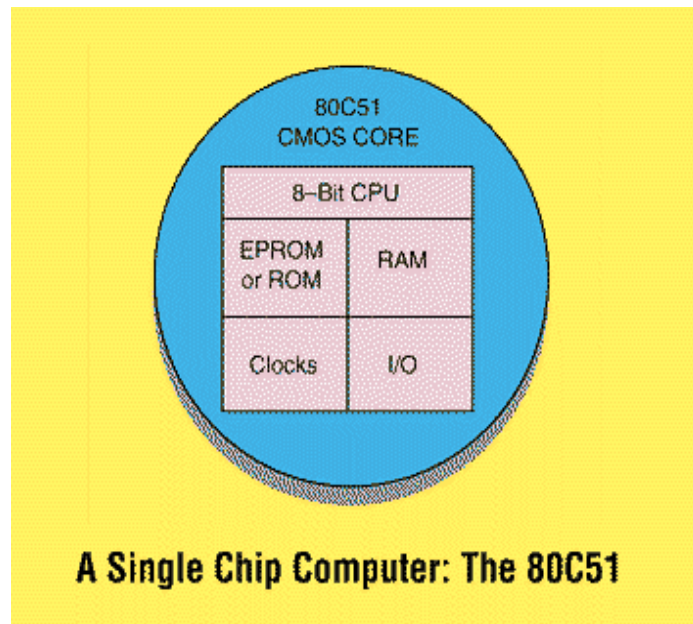
O Microcontrolador TMS370 da Texas Instruments

A família TMS370 contém os seguintes módulos periféricos:

Interfaz 1 (SCI1) de comunicação serial, um temporizador de propósito geral de 16 bits, um temporizador guardião (watchdog) de propósito geral de 24 bits, tem memórias ROM/EEPROM/EPROM, um bloco de interrupções, um sistema de controle e duas portas de 8 e 5 bits cada.



Alguns microcontroladores derivados do 8051



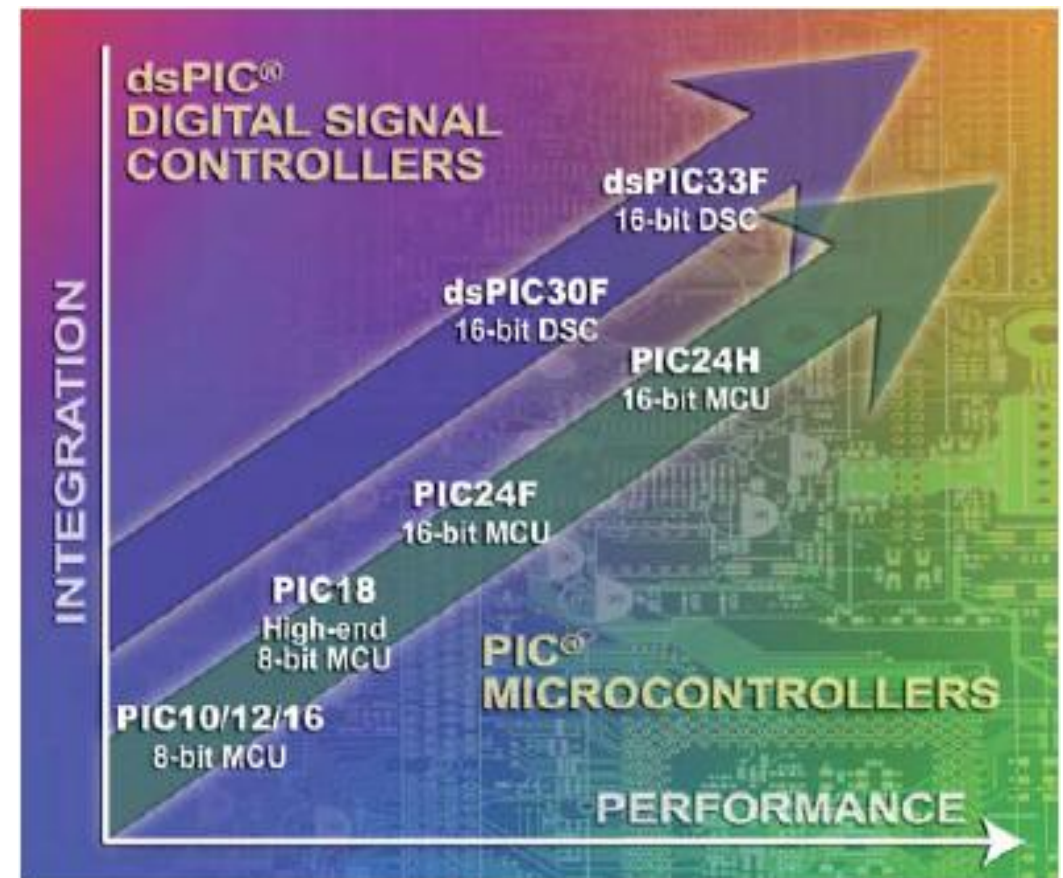
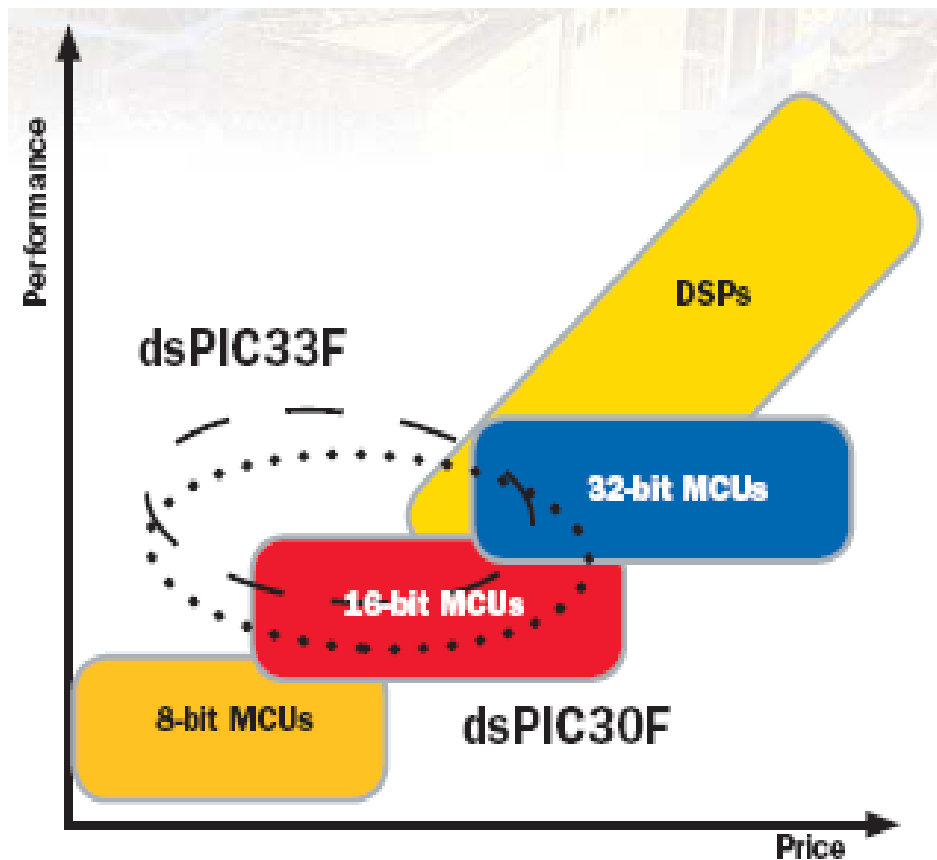
Família do dsPIC30F

- ❖ Um controlador digital de sinal (Digital Signal Controller - DSC) é um chip único que integra os atributos de controle de um uC com a capacidade de computação de um processador digital de sinais (Digital Signal Processor – DSP).
- ❖ O dsPIC oferece tudo o que se espera de um uC de 16 bits, velocidade, gerenciamento de interrupções sofisticado, uma amplo arranjo de periféricos digitais e analógicos, gerenciamento de potência, opções flexíveis de clock, watch dog time (WDT) e muitas outras características.
- ❖ Acrescentando as capacidades de DSP para um uC de 16 bits de alta performance a família dsPIC30F e dsPIC33F da microchip alcança o melhor dos dois mundos e marca o começo de uma nova era do controle embarcado.

Best of Both Worlds



- ❖ Construídos sob a mesma arquitetura base e conjunto de instruções, três famílias de microcontroladores de 16 bits tem uma flexibilidade muito grande no quesito de desempenho: os DSCs dsPIC30F e o dsPIC33F e o uC PIC24.
- ❖ Enquanto que o uC PIC24 oferece um conjunto de instruções base, o dsPIC30F e o dsPIC33F integram completamente as capacidades de DSP.



❖ A família do dsPIC30F pode ser dividido da seguinte forma:

General Purpose Family

The dsPIC30F General Purpose Family is ideal for a wide variety of 16-bit embedded control applications. In addition, the variants with codec interfaces are well suited for speech and audio applications.

Product	Pins	Flash-Memory Kbytes	RAM Bytes	EEPROM Bytes	Timer 16-bit	Input Capture	Output Compare/Standard PWM	Codec Interface	A/D 12-bit 200 ksp/s	UART	SPI™	I ² C™	CAN	I/O Pins (max.)†	Package Code
dsPIC30F3014	40/44	24	2048	1024	3	2	2	—	13 ch, 1 S/H	2	1	1	—	30	P, PT, ML
dsPIC30F4013	40/44	48	2048	1024	5	4	4	AC97, I ² S	13 ch, 1 S/H	2	1	1	1	30	P, PT, ML
dsPIC30F5011	64	66	4096	1024	5	8	8	AC97, I ² S	16 ch, 1 S/H	2	2	1	2	52	PT
dsPIC30F6011 ¹ dsPIC30F6011	64	132	6144	2048	5	8	8	—	16 ch, 1 S/H	2	2	1	2	52	PF PT
dsPIC30F60122 ¹ dsPIC30F6012A	64	144	8192	4096	5	8	8	AC97, I ² S	16 ch, 1 S/H	2	2	1	2	52	PF PT
dsPIC30F5013	80	66	4096	1024	5	8	8	AC97, I ² S	16 ch, 1 S/H	2	2	1	2	68	PT
dsPIC30F6013 ¹ dsPIC30F6013A	80	132	6144	2048	5	8	8	—	16 ch, 1 S/H	2	2	1	2	68	PF PT
dsPIC30F6014 ¹ dsPIC30F6014A	80	144	8192	4096	5	8	8	AC97, I ² S	16 ch, 1 S/H	2	2	1	2	68	PF PT

Sensor Family

The dsPIC30F Sensor Family products have features designed to support high-performance, cost sensitive and space constrained applications. Offered as small as 6x6 mm and with pin counts as low as 18 pins, this family provides industry leading performance in a small form factor.

Product	Pins	Flash-Memory Kbytes	RAM Bytes	EEPROM Bytes	Timer 16-bit	Input Capture	Output Compare/Standard PWM	A/D 12-bit 200 ksp/s	UART	SPI™	I ² C™	I/O Pins (Max.)†	Package Code
dsPIC30F2011	18	12	1024	—	3	2	2	8 ch, 1 S/H	1	1	1	12	P, SO, 28-pin ML
dsPIC30F3012	18/44	24	2048	1024	3	2	2	8 ch, 1 S/H	1	1	1	12	P, SO, 44-pin ML
dsPIC30F2012	28	12	1024	—	3	2	2	10 ch, 1 S/H	1	1	1	20	SP, SO, 28-pin ML
dsPIC30F3013	28/44	24	2048	1024	3	2	2	10 ch, 1 S/H	2	1	1	20	SP, SO, 44-pin ML

Motor Control and Power Conversion Family

This dsPIC30F family supports motor control applications, such as brushless DC motors, single and 3-phase induction and switched reluctance motors. These are also ideal for UPS, inverters, switched mode power supplies and power factor correction.

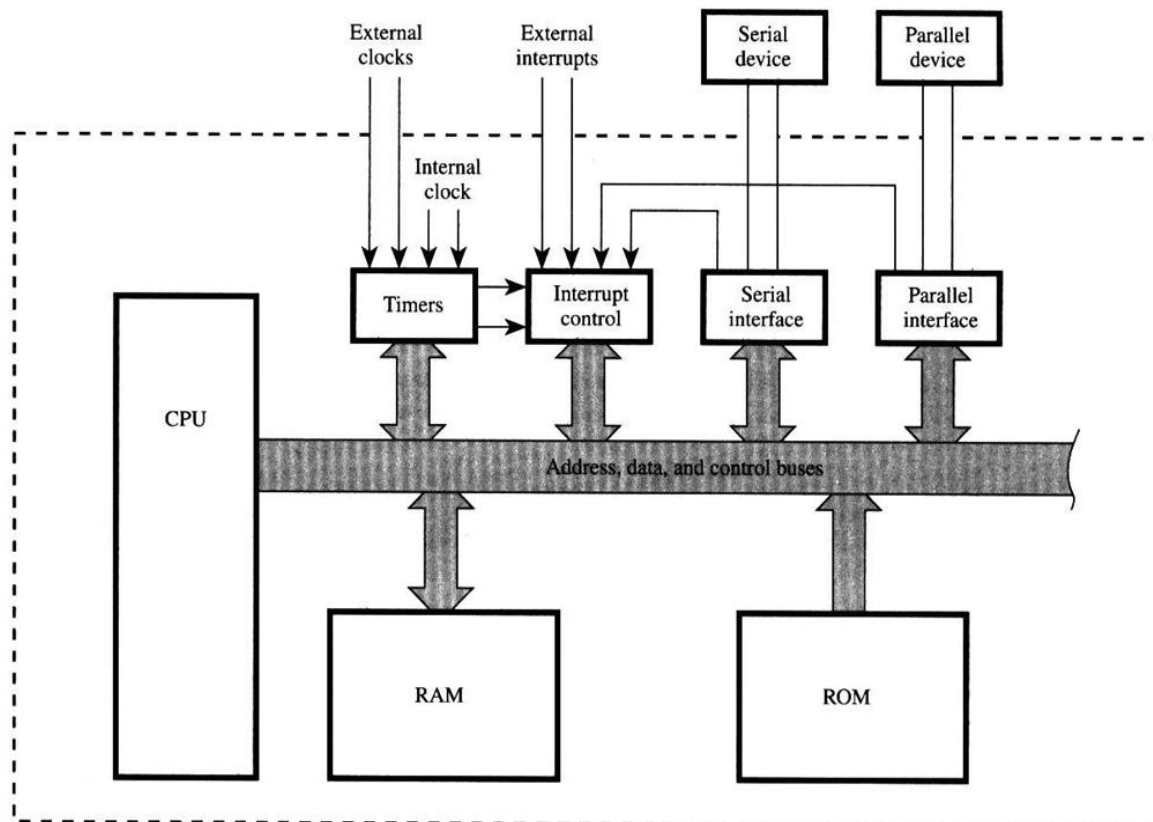
Product	Pins	Flash-Memory Kbytes	RAM Bytes	EEPROM Bytes	Timer 16-bit	Input Capture	Output Compare/ Standard PWM	Motor Control PWM	Quadrature Encoder	A/D 10-bit 1 Msps	UART	SPI™	PC™	CAN	I/O Pins (Max.)†	Package Code
dsPIC30F2010	28	12	512	1024	3	4	2	6 ch	Yes	6 ch, 4 S/H	1	1	1	—	20	SP, SO, MM
dsPIC30F3010	28/44	24	1024	1024	5	4	2	6 ch	Yes	6 ch, 4 S/H	1	1	1	—	20	SP, SO, 44-pin ML
dsPIC30F4012	28/44	48	2048	1024	5	4	2	6 ch	Yes	6 ch, 4 S/H	1	1	1	1	20	SP, SO, 44-pin ML
dsPIC30F3011	40/44	24	1024	1024	5	4	4	6 ch	Yes	9 ch, 4 S/H	2	1	1	—	30	R, PT, ML
dsPIC30F4011	40/44	48	2048	1024	5	4	4	6 ch	Yes	9 ch, 4 S/H	2	1	1	1	30	R, PT, ML
dsPIC30F5015	64	66	2048	1024	5	4	4	8 ch	Yes	16 ch, 4 S/H	1	2	1	1	52	PT
dsPIC30F6015	64	144	8192	4096	5	8	8	8 ch	Yes	16 ch, 4 S/H	2	2	1	2	52	PF
dsPIC30F5016	80	66	2048	1024	5	4	4	8 ch	Yes	16 ch, 4 S/H	1	2	1	1	68	PT
dsPIC30F6010 dsPIC30F6010A*	80	144	8192	4096	5	8	8	8 ch	Yes	16 ch, 4 S/H	2	2	1	2	68	PF PT

Diferenças entre Microprocessadores e Microcontroladores

❖ O microprocessador é um único chip usado em microcomputadores. Como se diferenciam os microcontroladores dos microprocessadores? Esta questão pode ser respondida desde três perspectivas: **arquitetura do hardware, aplicações, e o conjunto de instruções.**

Arquitetura de Hardware

❖ A diferença entre microcontroladores e microprocessadores se mostram na seguinte figura.



❖ Um microprocessador é um único chip CPU, um microcontrolador contém, em um único chip, uma CPU e muitos dos circuitos restantes de um sistema de computador.

❖ Os componentes dentro da linha pontilhada são uma parte integral de muitos microcontroladores. Também com a CPU, os microcontroladores incluem RAM, ROM, uma interface serial, uma interface paralela, temporizadores, e circuitos de interrupção, tudo dentro do mesmo circuito integrado.

❖ Geralmente, a quantidade de RAM dentro do CI não se aproxima nem sequer à quantidade de RAM de um modesto sistema de microcomputador, mas esta não é uma limitação.

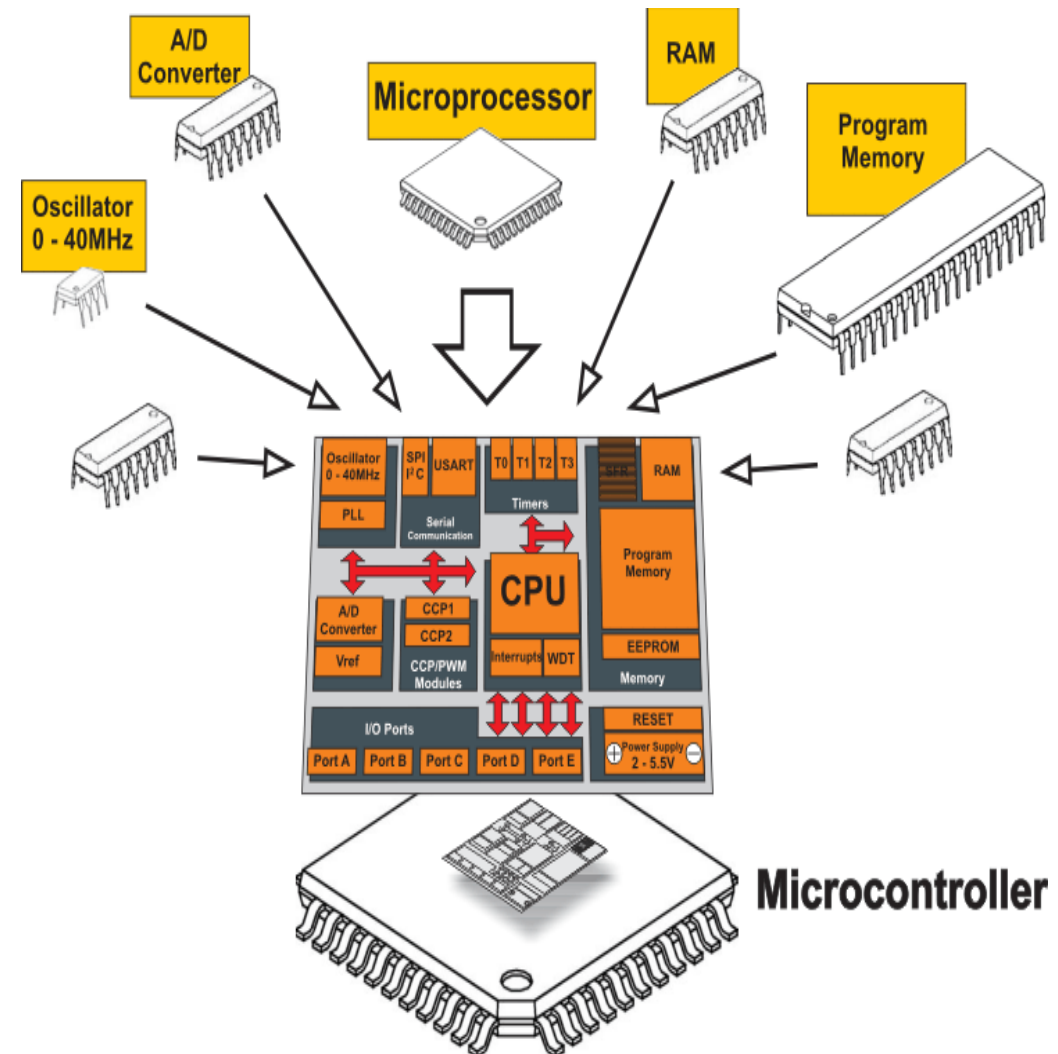
❖ Uma importante característica dos microcontroladores é o sistema de interrupção interno.

Aplicações

- ❖ Microprocessadores são mais comumente usados como a unidade central de processamento em sistemas de microcomputadores.
- ❖ Microcontroladores, portanto, são encontrados em pequenos, projetos de componentes mínimos executando atividades orientadas ao controle.

Conjunto de Instruções

- ❖ Devido às diferentes aplicações, microcontroladores tem diferentes requerimentos para seu conjunto de instruções do que os microprocessadores.
- ❖ O conjunto de instruções dos microprocessadores são de “processamento intensivo” implicando que eles tem modos de endereçamento poderosos com as instruções que operam um grande volume de dados. Suas instruções operam sobre nibbles, bytes, palavras, duplas palavras, etc.
- ❖ Microcontroladores tem um conjunto instruções para o controle de entradas e saídas. A interface para muitas entradas e saídas usa um único bit. Por exemplo, um motor poderia ser ligado e desligado por um solenoide energizado por uma porta de saída de 1 bit.
- ❖ Microcontroladores tem instruções para setar e limpar bits individuais e executar outras operações orientadas a bit. Esta potencialidade é raramente apresentada em microprocessadores os quais são projetados para operar sobre bytes ou sobre grandes unidades de dados.



Características da família dsPIC30F e dsPIC33F

Operating Range dsPIC30F

DC to 30 MIPS*
V _{DD} range: 2.5 to 5.5V
Ind. (-40° to 85° C) and ext. (-40° to 125°C)
* 30 MIPS @ 4.5 to 5.5V, -40° to 85° C

Operating Range dsPIC33F

DC to 40 MIPS
V _{DD} range: 3.0 to 3.6V
Ind.(-40° to 85° C) Extended temp. planned

High Performance DSC CPU

Single core combines MCU and DSP features
C compiler optimized instruction set
16-bit wide data path
24-bit wide instructions
84 base instructions: mostly 1 word/1 cycle
16 16-bit general purpose registers
2 40-bit accumulators
• With rounding and saturation options
Flexible and powerful addressing modes
• Indirect, modulo and bit-reversed
Software stack
16 x 16 fractional/integer multiplier
32/16 and 16/16 divide
Single cycle multiply-and-accumulate
40-stage barrel shifter

Hardware DMA (dsPIC33F)

8 channel DMA
2 KB dual port RAM

Power Management

Switch between clock sources in real-time
Programmable power-on reset start up
Programmable low-voltage detect
Programmable brown-out reset
Idle and Sleep modes with fast wake-up

System Management

Flexible clock options:
• Primary external clock, crystal, resonator
• Secondary lower power 32 kHz oscillator
• Internal RC: fast or low power
• Integrated low jitter PLL
– PLL sourced by ext. & int. clock sources
Programmable power-up timer
Oscillator start-up timer/stabilizer
Watchdog Timer with its own RC oscillator
Clock switching/fail-safe clock monitor

Interrupt Controller

5 cycle fixed latency
Up to 118 interrupt sources, up to 5 external
7 programmable priority levels
4 processor exceptions and software traps

Digital I/O

Up to 85 programmable digital I/O pins
Wake-up/Interrupt-on-change on up to 24 pins
25 mA sink and source on all dsPIC30F I/O pins

On-chip Flash, Data EE and RAM

Flash program memory: up to 256 KB
dsPIC30F Data EEPROM: up to 4 KB
• 1 million erase/write cycles typical
Data RAM: up to 30 KB

Timers/Capture/Compare/PWM

Timer/counters: up to nine 16-bit timers
• Can pair up to make 32-bit timers
• 1 timer can run as real-time clock
Input capture: up to 8 channels
• Capture on rising, falling or both edges
• 4-deep FIFO on each capture
Output compare: up to 8 channels
• Single or dual 16-bit compare mode
• 16-bit glitchless PWM mode

Communication Modules

3-wire SPI™: up to 2 modules
• Framing supports I/O interface to simple codecs
I²C™: up to 2 modules
• Full Multi-master and Slave mode support
• 7-bit and 10-bit addressing
UART: up to 2 modules
• Interrupt-on-address bit detect
• Wake-up on Start bit from Sleep mode
• 4-character TX and RX FIFO buffers
Codec interface module
• Supports I²S and AC97 protocols
CAN/ECAN 2.0B active: up to 2 modules
• 3 transmit, 2 receive buffers (dsPIC30F)
• 8 transmit, 32 receive buffers (dsPIC33F)
• Wake-up on CAN message

Motor Control Peripherals

Motor Control PWM: up to 8 outputs
• 4 duty cycle generators
• Independent or complementary mode
• Programmable dead time settings
• Edge or center-aligned
• Manual output override control
• Up to 2 fault inputs
• A/D samples triggered by PWM module
Quadrature encoder interface module
• Phase A, Phase B and index pulse input

Analog-to-Digital Converters

10-bit A/D converter:
• dsPIC30F: 1Msps, 1 module
• dsPIC33F: 1.1 Msps, 1 or 2 modules
• Up to 8 simultaneous sample/hold
12-bit A/D converter:
• dsPIC30F: 200 ksps, 1 module
• dsPIC33F: 500 ksps, 1 or 2 modules
Common features:
• ±1 Lsb accuracy
• 16-deep result buffer
• dsPIC30F: up to 16 channels, auto scanning
• dsPIC33F: up to 32 channels, auto scanning

Diagrama em blocos da família dsPIC30F e dsPIC33F

dsPIC30F/dsPIC33F Family Block Diagram

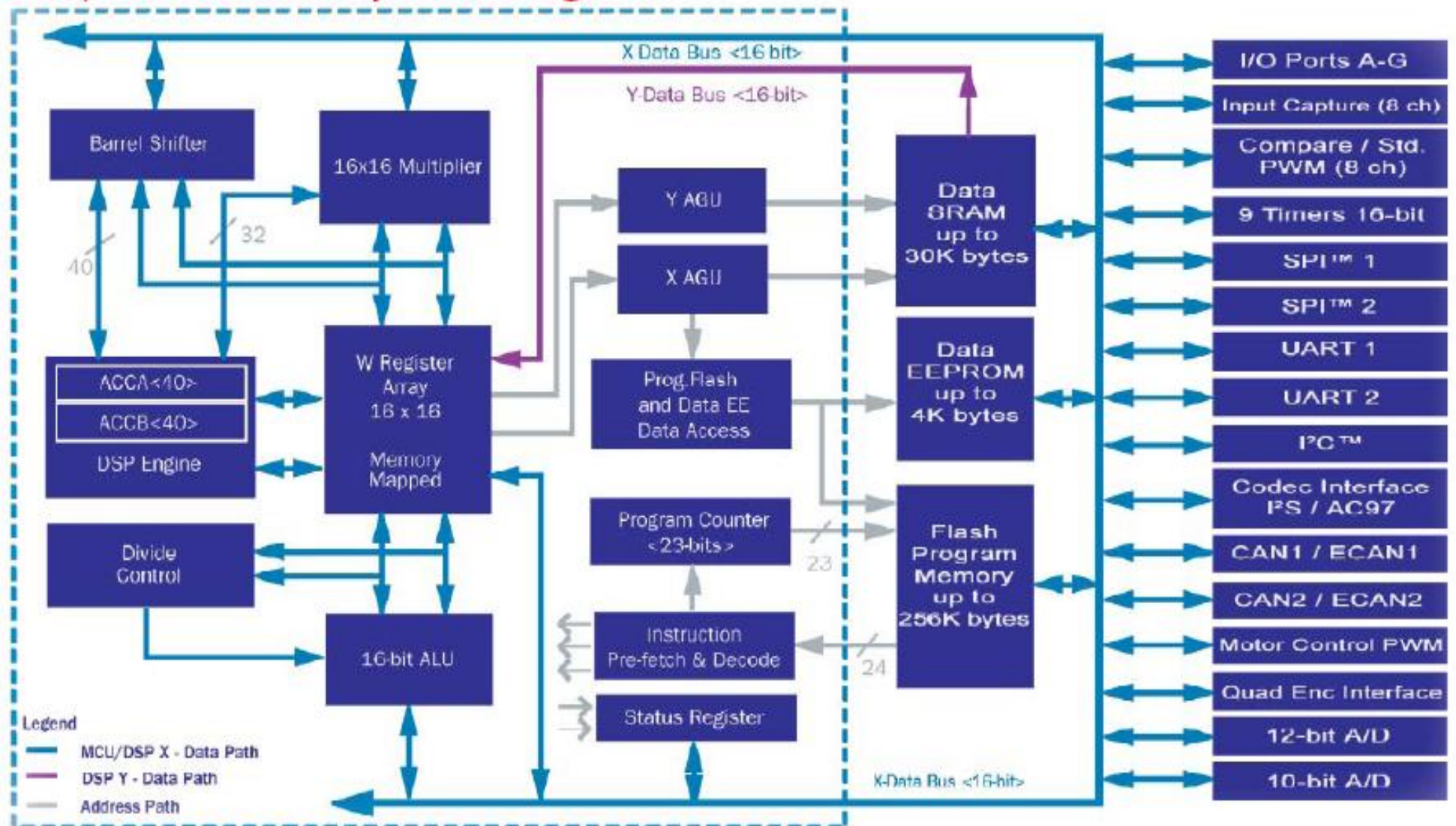
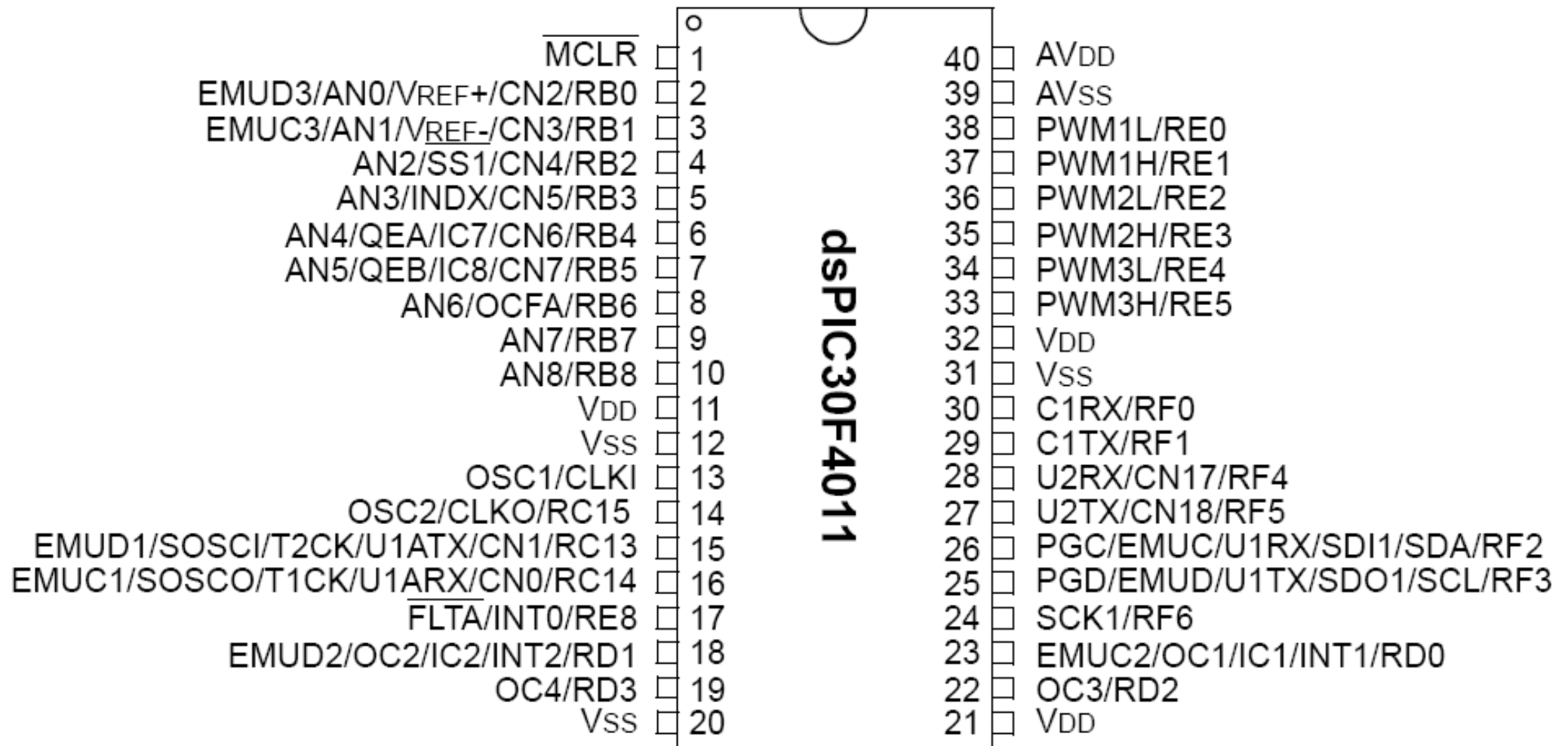


Diagrama dos pinos do microcontrolador dsPIC30F4011



Pin Name	Pin Type	Buffer Type	Description
AN0-AN8	I	Analog	Analog input channels. AN0 and AN1 are also used for device programming data and clock inputs, respectively.
AVDD	P	P	Positive supply for analog module. This pin must be connected at all times.
AVSS	P	P	Ground reference for analog module.
CLKI CLKO	I O	ST/CMOS —	External clock source input. Always associated with OSC1 pin function. Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. Optionally functions as CLK0 in RC and EC modes. Always associated with OSC2 pin function.
CN0-CN7 CN17-CN18	I	ST	Input change notification inputs. Can be software programmed for internal weak pull-ups on all inputs.
C1RX C1TX	I O	ST —	CAN1 bus receive pin. CAN1 bus transmit pin.
EMUD EMUC EMUD1 EMUC1 EMUD2 EMUC2 EMUD3 EMUC3	I/O I/O I/O I/O I/O I/O I/O I/O	ST ST ST ST ST ST ST ST	ICD Primary Communication Channel data input/output pin. ICD Primary Communication Channel clock input/output pin. ICD Secondary Communication Channel data input/output pin. ICD Secondary Communication Channel clock input/output pin. ICD Tertiary Communication Channel data input/output pin. ICD Tertiary Communication Channel clock input/output pin. ICD Quaternary Communication Channel data input/output pin. ICD Quaternary Communication Channel clock input/output pin.
IC1, IC2, IC7, IC8	I	ST	Capture inputs 1, 2, 7 and 8.
INDX QEA QEB	I I I	ST ST ST	Quadrature Encoder Index Pulse input. Quadrature Encoder Phase A input in QE1 mode. Auxiliary Timer External Clock/Gate input in Timer mode. Quadrature Encoder Phase A input in QE1 mode. Auxiliary Timer External Clock/Gate input in Timer mode.
INT0 INT1 INT2	I I I	ST ST ST	External interrupt 0. External interrupt 1. External interrupt 2.
FLTA PWM1L PWM1H PWM2L PWM2H PWM3L PWM3H	I O O O O O O	ST — — — — — —	PWM Fault A input. PWM1 low output. PWM1 high output. PWM2 low output. PWM2 high output. PWM3 low output. PWM3 high output.
MCLR	I/P	ST	Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active-low Reset to the device.
OCFA OC1-OC4	I O	ST —	Compare Fault A input (for Compare channels 1, 2, 3 and 4). Compare outputs 1 through 4.

Legend: CMOS = CMOS compatible input or output Analog = Analog input
 ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels O = Output
 I = Input P = Power

Pin Name	Pin Type	Buffer Type	Description
OSC1	I	ST/CMOS	Oscillator crystal input. ST buffer when configured in RC mode; CMOS otherwise.
OSC2	I/O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. Optionally functions as CLK0 in RC and EC modes.
PGD PGC	I/O I	ST ST	In-Circuit Serial Programming™ data input/output pin. In-Circuit Serial Programming clock input pin.
RB0-RB8	I/O	ST	PORTB is a bidirectional I/O port.
8RC13-RC15	I/O	8ST	PORTC is a bidirectional I/O port.
RD0-RD3	I/O	ST	PORTD is a bidirectional I/O port.
RE0-RE5, RE8	I/O	ST	PORTE is a bidirectional I/O port.
RF0-RF8	I/O	ST	PORTF is a bidirectional I/O port.
SCK1	I/O	ST	Synchronous serial clock input/output for SPI1.
SDI1	I	ST	SPI1 data in.
SDO1	O	—	SPI1 data out.
SS1	I	ST	SPI1 slave synchronization.
SCL	I/O	ST	Synchronous serial clock input/output for I ² C™.
SDA	I/O	ST	Synchronous serial data input/output for I ² C.
SOSCO SOSCI	O I	— ST/CMOS	32 kHz low-power oscillator crystal output. 32 kHz low-power oscillator crystal input. ST buffer when configured in RC mode; CMOS otherwise.
T1CK T2CK	I I	ST ST	Timer1 external clock input. Timer2 external clock input.
U1RX U1TX U1ARX U1ATX U2RX U2TX	I O I O I O	ST — ST — ST —	UART1 receive. UART1 transmit. UART1 alternate receive. UART1 alternate transmit. UART2 receive. UART2 transmit.
VDD	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
VSS	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VREF+	I	Analog	Analog voltage reference (high) input.
VREF-	I	Analog	Analog voltage reference (low) input.

Legend: CMOS = CMOS compatible input or output Analog = Analog input
 ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels O = Output
 I = Input P = Power